



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Gauge theory and nematic order : the rich landscape of orientational phase transition

Liu, K.

Citation

Liu, K. (2016, September 6). *Gauge theory and nematic order : the rich landscape of orientational phase transition*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/42793>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/42793>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/42793> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Liu, K.

Title: Gauge theory and nematic order : the rich landscape of orientational phase transition

Issue Date: 2016-09-06

Samenvatting

De ordening van alle mogelijke kristalstructuren in twee en drie dimensies behelst een van de wetenschappelijke hoogtepunten van de 19e eeuw. Dergelijke tastbare kristallen breken, wiskundig gezien, de translatie- en rotatiesymmetrie van de onderliggende ruimte en worden beschreven middels een zogenaamde ruimtgroep. Vloeibare kristallen, daarentegen, breken alleen de rotatiesymmetrieën en zouden a priori dus op eenzelfde manier moeten kunnen worden ingedeeld in termen van alle mogelijke puntgroepen, i.e. de ondergroepen van de volledig isotrope orthogonale groep $O(3)$. Desalniettemin is traditiegetrouw de wetenschappelijke aandacht voor vloeibare kristallen vooral gefocust op uniaxiale nematische fasen, die één hoofdas bezitten en beschreven worden door puntgroep $D_{\infty h}$, en systemen waarbij ook in een tweede richting orde optreedt, de biaxiale vloeibare kristallen met D_{2h} -symmetrie. Dit is echter slechts een greep uit het totaal aantal mogelijkheden; in drie ruimtelijke dimensies bestaan er zeven oneindige families van axiale en polyhedrale groepen en elke puntgroep kan in principe met een nematische fase corresponderen. De gebruikelijke orderparametermethodiek om deze fasen te bestuderen, i.e. de Landau-de Gennes theorie, is echter zeer gecompliceerd en gaat gepaard met onhanteerbare tensoren van hoge orde. In dit proefschrift worden dergelijk systemen daarom belicht vanuit een alternatief perspectief dat gebaseerd is op een ijktheoretische beschrijving van vloeibare kristallen en corresponderende faseovergangen.

De onderliggende theorie betreft een niet-Abelse discrete ijktheorie waarin $O(3)$ materie wordt gekoppeld aan een ijkveld. Dit ijkveld incorporeert effectief de onderliggende puntgroepsymmetrie met een overeenkomst in fysische vrijheidsgraden tussen de nematische fase in kwestie en de beschrijving als resultaat: de $O(3)$ materie met locale ijksymmetrie fungeert als een orderparameterveld. Dergelijke ijktheorieën alsmede de bijbehorende fasen zijn veelvuldig bestudeerd in de context van de deeltjesfysica en de vloeibare kristal en isotrope vloeibare fasen corresponderen respectievelijk met de welbekende Higgs en confined fase van de ijktheorie. Omdat in deze aanpak de onderliggende puntgroepsymmetrie direct wordt meegenomen in de formulering kunnen de resultaten komende uit de standaard Landau-de Gennes theorie worden gereproduceerd zonder dat de

gecompliceerde tensoren daadwerkelijk hoeven worden te berekend. Bovendien biedt de ijktheoretische beschrijving een algemeen raamwerk dat alle nematische fasen eenduidig en efficiënt kan bestuderen.

De ijktheoretische beschrijving kan verder de orderparameter-tensoren expliciet *genereren*, dit in tegenstelling tot de traditionele Landau-de Gennes verhandelingen waar vooraf de concrete vorm met behulp van symmetrieoverwegingen moet worden bepaald. Dit betekent dat men eerst de zeer complexe orderparameter-tensor moet construeren alvorens het model en alle relevante interacties kunnen worden bepaald voor het specifieke geval in kwestie. Met de ijktheoretische beschrijving in handen kunnen we echter alle orderparameters eenduidig vinden met de onderliggende symmetrie als enige invoer. Een belangrijk resultaat in dit proefschrift betreft dan ook een systematische categorisering van alle orderparameters voor alle interessante symmetriegevallen, inclusief alle kristallijne puntgroepen, axiale puntgroepen en het geval van icosahedrale symmetrie. Deze systematiek in het landschap van mogelijk nematische fasen is, voor zover wij weten, tot op heden niet ontdekt, hoewel de onderliggende theorie al aandacht geniet sinds de jaren 70.

Daarnaast stelt de bovengenoemde beschrijving ons in staat om alle nematische fasen in een referentiekader te vergelijken. Zodoende kunnen we de orderparameterfluctuaties eenduidig vergelijken en vinden we dat deze monotonisch toenemen voor toenemende symmetrie. Een bijbehorend order-by-disorder mechanisme leidt vervolgens tot de mogelijkheid van nieuwe rudimentaire fasen, waarvan een fase gekenmerkt door slechts chiraliteit het meest in het oog springt. We ontdekken dat, met name hoog in de hiërarchische structuur van de puntgroepen, de fluctuaties geassocieerd met nematische orde dramatisch aangroeien. Voor scenarios betreffende polyhedrale groepen met een chiraliteit, i.e. situaties waar de spiegelsymmetrie van de isotrope ruimte is gebroken, kunnen dergelijke fluctuaties de spiegel- en rotatiesymmetrie onafhankelijk breken en zodoende aanleiding geven tot de formatie van een rudimentaire fase die alleen een chirale orde heeft. Deze ontdekkingen zijn dus met nadruk gestoeld op de voordelen van de ijktheoretische beschrijving, aangezien Landau-de Gennes theorieën voor verschillende symmetrieën niet eenduidig te vergelijken zijn.

Tenslotte vinden we dat we eveneens op natuurlijke wijze anisotropieën tussen de componenten langs en loodrecht op de hoofdas in de beschrijving van axiale nematische fasen kunnen toevoegen in de ijktheoretische

beschrijving. Dit stelt ons in staat om nieuwe faseovergangen te voorspellen en reeds bekende faseovergangen te verifiëren. In essentie kan dit worden opgevat als een generalisatie van de welbekende uniaxiale-biaxiale transitie naar algemene axiale puntgroepsymmetrische nematische fasen en brengt zodoende nieuwe mogelijkheden in kaart.

